

高炉炼铁日常生产操作优化及降本增效实践探讨

郑志辉, 张晋晋

宁波钢铁有限公司, 浙江 宁波 315800

DOI:10.61369/ERA.2026100018

摘 要 : 高炉炼铁作为钢铁制造的核心环节, 其操作优化与成本控制直接关乎企业效益。本文围绕日常生产实践, 系统探讨了原燃料质量与炉料结构、送风与热制度、上部装料与煤气利用、出铁管理及标准化作业五个维度的协同优化策略。通过精料管控、烧结矿与球团矿合理搭配、炉料筛分等措施夯实炉况基础; 依托风量调节、富氧喷煤及炉温碱度稳定实现热力学与动力学匹配; 运用布料矩阵调整、批重优化等手段提升煤气利用率; 强化出铁均匀性与炉缸活跃度, 保障炉前顺畅; 最终以标准化操作、预警机制及绩效考核推动降本增效落地。旨在为高炉长期稳定、低耗运行提供系统性实践参考。

关 键 词 : 高炉炼铁; 操作优化; 炉料结构; 煤气利用; 炉前管理; 降本增效

Discussion on Daily Production Operation Optimization and Cost-Reduction & Efficiency-Improvement Practice of Blast Furnace Ironmaking

Zheng Zhihui, Zhang Jinjin

Ningbo Iron & Steel Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315800

Abstract : As the core link of steel manufacturing, blast furnace ironmaking's operation optimization and cost control are directly related to enterprise benefits. Focusing on daily production practice, this paper systematically discusses the collaborative optimization strategies from five dimensions: raw material and fuel quality and burden structure, air blasting and thermal regime, upper charging and gas utilization, tapping management, and standardized operation. Measures such as high-quality raw material control, reasonable matching of sinter and pellet, and burden screening are adopted to consolidate the foundation of furnace condition. Air volume adjustment, oxygen enrichment and coal injection, as well as stable furnace temperature and basicity are utilized to realize the matching of thermodynamics and kinetics. Adjustment of burden distribution matrix and batch weight optimization are applied to improve gas utilization efficiency. The uniformity of tapping and hearth activity are strengthened to guarantee smooth cast-house operation. Finally, standardized operation, early-warning mechanism and performance appraisal are implemented to achieve cost reduction and efficiency improvement. It aims to provide systematic practical reference for long-term stable and low-consumption operation of blast furnaces.

Keywords : blast furnace ironmaking; operation optimization; burden structure; gas utilization; cast-house management; cost-reduction and efficiency-improvement

引言

高炉炼铁能耗占钢铁联合企业总能耗的60%以上, 燃料成本约占生铁制造成本的70%, 在行业微利甚至亏损常态下, 任何操作细节的疏漏都可能侵蚀利润空间。当前原燃料市场品质波动频繁, 环保限产与低碳冶炼要求日益严格, 高炉操作者既要应对来料不稳定带来的炉况扰动, 又需兼顾产量、质量与消耗的多重考核目标。日常操作中, 参数调整往往偏重局部而忽略系统联动, 导致煤气利用率偏低、燃料比居高不下^[1]。本文立足一线生产实际, 从原燃料处理、送风制度、装料控制、出铁管理及标准化操作五个层面, 探讨可落地的协同优化方法, 力求为高炉长周期经济冶炼提供实践参考。

一、原燃料质量与炉料结构优化

（一）精料入炉与焦炭质量管控

原燃料品质是高炉稳定顺行的第一要务，焦炭是料柱的骨架、主要热源，冷热强度尤其重要。日常必须对焦炭的抗碎强度 M40、耐磨强度 M10 以及反应后强度 CSR 做检测工作，保证焦炭在高炉下部高温区有良好的支撑性和气化活性。进厂焦炭按来源分堆存放，定期做粒度筛分分析，防止超标的粉末进入炉内。另外还要设立焦炭质量预警台账，当灰分或者硫负荷出现波动的时候，马上调节喷煤量和碱度来维持炉缸热状态的稳定。加强焦炭烘干或者整粒处理，降低入炉水分及细粒混入，有利于改善料柱透气情况，给强化冶炼打下基础。

（二）烧结矿与球团矿合理搭配

烧结矿和球团矿的比例直接影响到炉渣的性质以及软熔带的位置，要依照高炉冶炼强度和原矿状况来不断加以调节。高碱度烧结矿可以提供大量的 CaO，有利于脱硫并且能够使渣的碱度保持稳定，但是过多会使得低温还原粉化率上升；酸性球团矿品位高、强度好，但是单独使用会造成渣系粘度过低。通过实践证明，把烧结矿比例控制在 70%–75%，球团矿比例控制在 20%–25%，加入少量块矿，可以获得较好的软熔区间。按照炉温的变化以及渣样的分析结果来调节两者的比例，同时配合镁质球团或者白云石的加入来提高炉渣的流动性以及脱硫的能力，从而达到透气性和冶金性能的平衡。

（三）炉料筛分与入炉粉末控制

入炉粉末含量属于影响料柱压差以及煤气分布的重要干扰因素，过多的 <5mm 粒级会造成气流通道被堵塞，从而加重风口的损坏情况。加强槽下筛分管理，定时对振动筛网孔径、振幅进行检测，使筛分效率大于 85%，并且要随时观察筛下物粒度分布情况。对返矿、除尘灰等进行定期回收处理，防止造成二次污染。遇到下雨天或者原料含水量增大时，应该降低给料速度或者加大筛面清理次数，以免出现糊筛造成粉末穿仓的情况发生。创建粉末日统计表，当入炉粉末超过规定量的时候，立刻查找皮带转运和卸料落点处是否有问题，从而减少摔破、破碎的现象发生，保证高炉吃到的是“精料”。

二、送风制度与热制度匹配

（一）风量风压与透气性调节

送风参数是高炉下部能量输入的直接反映，风量大小要同目前料柱透气性指数相适应。日常操作中把风压稳定当作基础，依照压差改变的趋势慢慢调节风口面积或者开度，防止风量突然改变造成悬料或者崩料。当压差增大时，先从炉料粒度、软熔带形状入手，适当降低风压或者减小风量，等压差下降后再逐渐增加风量。用透气性指数 K 值每天评价，如果 K 值连续较高，则考虑疏松边缘或者中心加焦来改善气流分布^[3]。注意热风炉拱顶温度和废气温度，使风温保持在 1150 ~ 1200℃ 之间，给高炉提供足够的物理热。

（二）富氧喷煤与理论燃烧温度控制

富氧喷煤是降低焦比的主要方法，但是需要严格控制理论燃烧温度，防止因为温度太低造成炉缸不活跃或者渣铁流动性变差。一般把理论燃烧温度控制在 2100 ~ 2250℃ 之间，用富氧率 (1% ~ 3%) 和喷煤量 (120 ~ 180kg/t) 共同调节。注意喷煤时煤粉的颗粒大小以及含水量，防止堵塞喷枪，定时测定风口回旋区的深度来判定燃烧是否完全。炉温下降时先提高富氧率而不是直接增加煤量，以防未燃煤粉增多而破坏透气性。每班记录富氧流量和煤量累计值，根据炉温的变化及时调整设定值，采用“以热定氧、以氧控煤”的动态调节方式。

（三）炉温与炉渣碱度稳定

炉温水平用铁水 [Si]、物理热来表示，日常目标控制 [Si] 为 0.35%–0.50%，物理热 $\geq 1480^{\circ}\text{C}$ 。炉渣碱度 R2 按脱硫要求及 Al₂O₃ 含量来调节，一般控制在 1.15 ~ 1.22 之间。操作过程中要遵循“勤看渣样、早调碱度”的原则，每炉取渣观察断面的颜色和光泽，如果渣样发黑或者断面粗糙，就说明碱度低，需要及时加入石灰石或者烧结矿。采用炉前取样的快速检测方法来制定炉温和碱度之间的联动调节表，防止两者互相影响。还要注意炉缸热储备的变化，连续两炉 Si 偏离目标的时候立即加减负荷，使炉温走势稳定。

三、上部装料与煤气利用改善

（一）布料矩阵与料面形状调整

布料矩阵决定炉喉料面形状，进而影响煤气初始分布和中心气流的发展。根据十字测温 and 炉顶成像来判定料面是否偏斜或者出现“漏斗”过深的情况。如果中心温度低，可以增加中心焦炭圈数或者采用大角度布料，使中心气流旺盛；如果边缘气流量大，可以加大边缘或者减小布料角度。每班至少校核一次布料溜槽倾角和实际落点，保证布料准确。同时配合炉身静压以及煤气成分的检测工作，在每两个小时的时候对布料挡板做一次微调，使得煤气流的分布情况呈现为中间宽、两边稳定的良好态势。

（二）批重与装料顺序优化

矿石批重、焦炭批重都会影响到料层厚度以及矿焦界面反应的速度。增大矿批可以减小界面效应，提高煤气与矿石的接触，但是批重太大容易造成中心料柱压实，降低透气性。实践中按照炉容和冶炼周期来确定矿批为 28 ~ 33t，保持焦批不变。装料顺序正装（矿→焦）有利于发展边缘，倒装（焦→矿）有利于发展中心，可以根据炉况来灵活地改变^[3]。每班记录料批数和下料速度，如果下料不均匀，先检查称量斗精度和闸门开度，防止批重变化造成料层错位。

（三）煤气利用率与燃料比控制

煤气利用率属于评判能量转换效率的重要指标，一般情况下需要达到 CO 利用率大于等于 48% 的标准。提高利用率的主要办法就是让上升煤气和下降炉料充分地进行热交换，减小炉顶散热。日常用调节布料、风量来控制炉顶温度在 120 ~ 150℃ 范围内，防止过高带出显热或者过低引起结瘤。燃料比（焦比 + 煤

比)属于综合消耗指标,应当依照煤气利用率变动情况及时加以调整,当利用率增长一个百分点的时候,可以相应削减燃料比3到5kg/t。创建每日燃料比核算表同历史最好水平对比,找到差距的原因并制订改善办法。

四、出铁管理与炉前作业优化

(一) 出铁时间与铁口深度控制

合理的出铁时间、铁口深度是保证渣铁能顺利排出的基础,铁口深度一般为2800 ~ 3200mm,过浅容易造成跑大流或者铁口自开,过深会加大开铁口的难度。操作过程中依据铁口泥套情况以及打泥量来调节,每次堵铁口的时候维持打泥压力不变,并且记下打泥容积。出铁时间应控制在70 ~ 90分钟内,使渣铁全部排出而不把炉缸抽空。如果出铁时间太短,要检查铁口孔径是不是太大或者泥包侵蚀严重;如果时间太长,就要增大开口机钻头直径或者改变铁口角度,使铁流速度一致。

(二) 出铁均匀性与炉缸活跃保持

出铁均匀性是指各个铁口轮流出铁的时候铁量、炉温差别不大,是炉缸活跃程度的一种体现。日常要合理安排两个铁口轮流出铁,防止某一个铁口长时间工作造成炉缸死料柱偏析。密切关注出铁过程中铁水是否带渣、下渣量是否突然增加,如果下渣量明显增大,说明炉缸液面下降过快或者炉墙结厚,需要及时加入净焦或者调节鼓风动能。定时检测炉缸侧壁温度以及冷却壁水温差,利用热流强度来评判圆周的工作状况,保证炉缸处于活跃并且侵蚀均匀的状态。

(三) 炉前设备作业率与安全操作

炉前设备开口机、泥炮、天车等属于出铁作业的物质保证,应该创建起日检、周保、月修的制度,重点对液压系统的渗漏以及钻头的磨损状况展开检查。开口机钻杆的角度、转速要由专人调节,不能因为钻偏而烧坏风口套。堵铁口的时候泥炮转动和压炮的动作要配合好,不能因为堵口不严而导致二次开铁口。同时加强作业人员的安全教育,正确佩戴防护面罩、隔热服,严格执行挂牌上锁制度^[4]。对设备的故障率及维修时间进行统计分析,并把作业率的目标值定为 $\geq 98\%$ 来保证出铁节奏的连续性、稳定性。

五、日常操作标准化与降本增效协同

(一) 关键操作参数标准化管理

把风压、料速、炉温、碱度、富氧率这些主要参数设定清楚

的日控制范围发到工长那里去执行,实行班前会确认制。每班都要记录实际值和目标值之间的差别,如果偏差超出规定范围的话,就要在交接班日志里注明原因并采取相应的处理办法。定期更新标准化作业指导书,加入先进的操作方法和事故案例教训,让岗位的操作有章可循。另外用数采系统自动生成参数趋势图来及时发现习惯性违规操作造成的误差,从根本上降低由于人为波动所导致的额外消耗。

(二) 异常炉况预警与快速调整

创建多级预警指标体系,包含炉顶温度急剧上升、压差突然增大、下料速度突然改变、炉温持续下降等典型的异常情况。当一个指标达到黄线的时候,操作工就要减小风量或者微调布料,如果多个指标接近红线的话就启动应急预案,迅速减风降负荷加净焦。预警模型依靠历史故障数据库不断改进,加快判定速度。每一班都有专人负责监视各种传感器信号,定时做模拟试验来加强班组人员对于崩料、悬料、风口烧穿这些突发情况的应对水平,从而尽量削减意外造成的损失。

(三) 能耗成本分析与班组绩效考核

根据燃料比、电耗、氧气消耗、氮气消耗来建立单炉日成本核算模型,由值班工长每班填写消耗明细表,财务人员每周汇总并折算出吨铁成本。把成本指标分解到各个班组,设置燃料比、铁口合格率、设备作业率这些主要的绩效指标,并采用“日统计、周评比、月兑现”的考核办法。对连续排名靠前的班组给予专项奖励,对落后班组提出分析改进报告的要求。用成本可视化看板及时显示出来,促使全体员工产生降本意识,营造起“人人精打细算,个个力争节俭”的良好环境。

六、结语

高炉炼铁操作优化属于多参数耦合的系统工程,原燃料是基础,送风和热制度是动力,装料和煤气利用是效率的核心,出铁管理是顺畅的保障,标准化作业是长效降本的制度抓手^[5]。各个部分不是孤立存在的,而是依靠炉缸热状态以及气流分布来联系在一起的。实践中要实行数据引领同经验判定相融合的办法,重视微小调整而不能骤然改变,加强提前预报而不是事后修补。经由精细管理并把全员绩效联系起来,在变动的原材料价格之下依然可以达成长久稳定的状况,从而达成燃料消耗削减、生产量增加、成本控制的目的。

参考文献

- [1] 周荣宝,王寅,陈鹏飞,等.高炉综合炉料熔滴性能及其预测模型[J].中国冶金,2023,33(8):33-42.
- [2] 李严.高炉炼铁工艺的优化与发展趋势研究[J].冶金管理,2022,(21):12-14.
- [3] 李兰涛.高炉炼铁技术工艺及应用分析[J].天津冶金,2021,(6):5-7+32.
- [4] 袁喻兴,同天一,那洪明,等.炼铁系统能耗和成本的集成优化及分析[J].中国冶金,2022,32(1):97-103.
- [5] 佟岩,王宝祥,陈伟,等.高炉炼铁过程炉料结构智能优化[J].冶金自动化,2021,45(5):23-29.